

# 一起 110kV 变压器间隙保护动作跳闸的故障分析

王 璞, 朱慈凝

(南京供电公司电力调度控制中心, 江苏 南京 210039)

**摘 要:** 本文介绍了一起复故障导致主变跳闸的事故, 该起事故由 10kV 侧发生, 发展至另一台主变 10kV 侧, 伴随该主变 110kV 进线断相, 进而导致主变间隙保护动作跳闸。在事故处理中, 由于现场情况复杂, 保护信息获取困难, 未能判断出 110 千伏线路上仍存在断线故障点, 送电时该主变再次跳闸。本文详细分析了主变两次跳闸时保护的動作情况, 结合间隙保护的原理、断相故障分析等, 得出保护均正确动作的结论。同时提醒电网运行人员, 当电网发生单一故障诱发多点故障时, 获得确切的保护信息及理清事故发生的逻辑关系是判定故障的重要手段, 并且对某些较为少见的电网故障需要进行更加深入的分析并制定应对措施。

**关键词:** 复故障; 间隙保护; 零序电流保护; 断相故障

## 0 引言

2012 年 5 月, 某 110kV 变电站(下称 A 站)发生了一起较为少见的复故障引起主变跳闸的事故, 主要原因是由于 10kV 侧出线开关柜绝缘老化被击穿引发站内 1 号主变低压侧开关跳闸, 后经故障发展, 又引起 2 号主变跳闸。经现场检查后对 2 号主变送电过程中, 2 号主变再次跳闸。该事故暴露出在现场情况复杂, 保护信息无法全面获取时会对事故的判定和处理带来困难, 针对这类少见的故障类型下文将进行深入分析并提出几点启示。

## 1 故障简介

### 1.1 A 站正常运行方式图

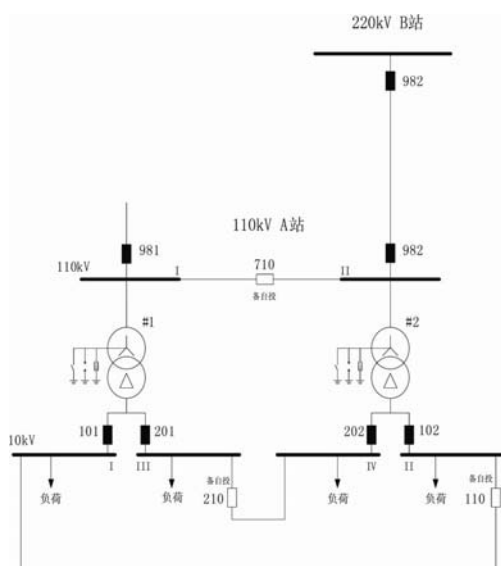


图 1 A 站正常运行方式图

110kV A 站正常运行方式图如图 1 所示, 110kV 分列运行, 两台主变中性点均不接地, 10kV 分列运行, 1 号主变供 10kV I、III 段母线, 2 号主变供 10kV II、IV 段母线, 710、110、210 开关均有备自投装置。

### 1.2 故障处理过程

22: 28, 调度员接监控告 A 站 1 号主变 201 开关跳闸, 210 开关备自投未动作(被闭锁), 10kV III 段母线失电。后查为 1 号主变低后备保护动作;

23: 08, 调度员接监控告 A 站 2 号主变两侧 982、202、102 开关跳闸, 110 开关备自投动作, 10kV III、IV 段母线失电。后查为 2 号主变高后备保护(未明确是 II 段间隙过压保护)动作, 2 号主变低后备保护启动 4 次, 均在 1.7s 复归, 未出口跳闸(动作时间为 1.9s);

23: 40, A 站现场告失电母线不能送电;

01: 47, 调度员将失电负荷全部移出, 送电正常。少送电量 21000kWh;

03: 30, 调度员将 2 号主变转冷备用;

16: 51, A 站告 2 号主变查无问题, 可以送电;

17: 46, A 站送电过程中, 2 号主变高后备 II 段间隙保护动作跳闸(2 号主变中性点接地闸刀拉开后保护动作)。后查为 A 站进线 982 线路#3 塔搭头 A 相断开;

22: 05, 现场告线路故障已处理好, 可以送电;

22: 58, A 站 2 号主变送电正常。

### 1.3 故障引起的思考

从故障处理过程中可以看出, 该故障发生于 10kV III 段母线出线开关柜, 虽已隔离故障, 但由

于伴有火情,导致故障发展至 10kV IV 段母线,伴随进线发生断相故障,进而导致主变跳闸。在对 2 号主变跳闸的处理中,由于现场情况复杂,保护信息获取困难,检查设备的重点在 10kV 侧,影响了对事故的判断,并且变电站高压侧单相断线故障比较少见,异常信号也难以区分,这才导致了 2 号主变第二次跳闸。

本文主要针对主变中性点间隙保护的原理、动作条件等,结合 A 站 2 号主变跳闸进行分析,通过理论计算,验证保护动作的正确性,并对断相故障进行进一步的分析。

## 2 故障分析

### 2.1 变压器中性点间隙保护原理

间隙保护的作用是保护中性点不接地变压器中性点的绝缘安全。在变压器中性点对地之间安装一个击穿间隙,在变压器不接地运行时,若因某种原因变压器中性点对地电位升高到不允许时,间隙击穿,产生间隙电流。变压器间隙保护是用流过变压器中性点的间隙电流及 PT 开口三角形电压作为危及中性点安全判据来实现的<sup>[1][2]</sup>。保护的原理接线如图 2 所示。

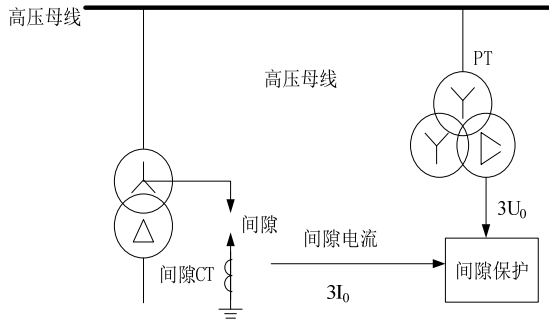


图 2 变压器中性点间隙保护原理接线图

间隙保护的动作为

$$3I_0 \geq I_{0op} \quad \text{or} \quad 3U_0 \geq U_{0op}$$

式中,  $3I_0$  为流过击穿间隙的电流(二次值),  $3U_0$  为 PT 开口三角形电压,  $I_{0op}$  为间隙保护动作电流,  $U_{0op}$  为间隙保护动作电压。A 站 2 号主变间隙保护整定信息如表 1 所示,间隙保护的逻辑框图如图 3 所示。

表 1 A 站 2 号主变间隙保护整定信息

定值名称	定值
间隙过流定值	100A/1.67A
间隙过压定值	150V (二次值)
间隙保护时限	0.6"

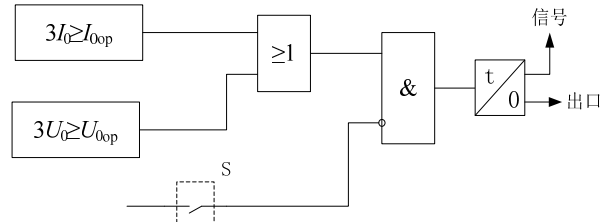


图 3 间隙保护逻辑框图

其中 S 为变压器中性点接地的辅助触点,当变压器中性点接地运行时, S 闭合,否则打开。通过逻辑框图可得,变压器中性点不接地是间隙保护可以出口跳闸的必要条件。

### 2.2 断相故障分析

断相故障在电网运行中较为少见,与接地故障不同,属于纵向不对称故障,其分析方法同样采用对称分量法,但有本质上的不同。纵向不对称电压是串联在断相处,而横向不对称电压是并接在短路点各相与大地之间。另外,纵向不对称故障采用的是  $Z_{11}$ 、 $Z_{22}$ 、 $Z_{00}$  参数,与横向不对称故障采用的  $Z_{\Sigma 1}$ 、 $Z_{\Sigma 2}$ 、 $Z_{\Sigma 0}$  参数意义不同<sup>[3]</sup>。假定 A 相断线,边界条件为

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_A &= 0 \\ \Delta U_B &= \Delta U_C = 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

复合序网如图 4 所示。

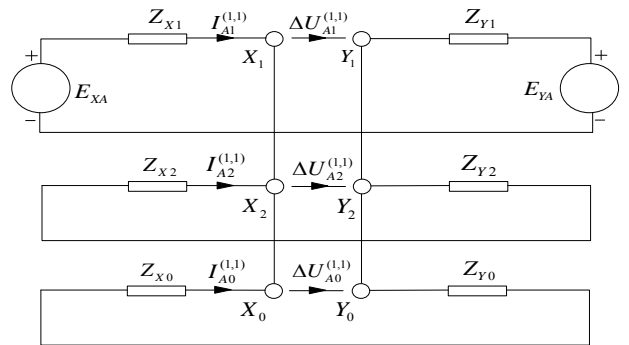


图 4 A 相断线复合序网图

由复合序网可得,各序电流为

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_{A1} &= \frac{\Delta \dot{E}_A}{Z_{11} + Z_{22} // Z_{00}} \\ \dot{I}_{A2} &= -\dot{I}_{A1} \frac{Z_{00}}{Z_{22} + Z_{00}} \\ \dot{I}_{A0} &= -\dot{I}_{A1} \frac{Z_{22}}{Z_{22} + Z_{00}} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

其中,  $\Delta E_A$  为两侧电动势差。各序电压为

$$\begin{aligned}\Delta U_{A1} &= \Delta U_{A2} = \Delta U_{A0} = \dot{E}_A \times Z_{22} // Z_{00} \\ &= \frac{Z_{22} Z_{00}}{Z_{11} Z_{22} + Z_{11} Z_{00} + Z_{22} Z_{00}} \dot{E}_A\end{aligned}\quad (3)$$

### 2.3 A 站 2 号主变间隙保护动作分析

A 站进线 982 线路#3 塔搭头 A 相断线, 假定  $Z_{11}=Z_{22}$ , 由于 2 号主变中性点不接地, 所以 Y 侧零序阻抗为无穷大, 零序电流没有流通回路。并且对于 110kV 馈供系统,  $E_{YA}$  为 0, 系统侧的序阻抗  $Z_{X1}$ 、 $Z_{X2}$ 、 $Z_{X0}$  远小于馈供侧的序阻抗  $Z_{Y1}$ 、 $Z_{Y2}$ 、 $Z_{Y0}$  [4][5]。基于以上假设, 可得此时序电流为

$$\dot{I}_{A1} = \frac{\dot{E}_A}{Z_1 + Z_2 + Z_0} = \frac{1}{2Z_{11}} \dot{E}_A = -\dot{I}_{A2}\quad (4)$$

$$\dot{I}_{A0} = 0$$

各序电压为

$$\Delta U_{A1} = \Delta U_{A2} = \Delta U_{A0} = \frac{1}{2} \dot{E}_A\quad (5)$$

由此可得, 馈供侧 Y 侧的各序电压为

$$U_{Y1} = U_{X1} - \Delta U_{A1} = \dot{E}_A - \frac{1}{2} \dot{E}_A = \frac{1}{2} \dot{E}_A$$

$$U_{Y2} = U_{X2} - \Delta U_{A2} = 0 - \frac{1}{2} \dot{E}_A = -\frac{1}{2} \dot{E}_A$$

$$U_{Y0} = U_{X0} - \Delta U_{A0} = 0 - \frac{1}{2} \dot{E}_A = -\frac{1}{2} \dot{E}_A$$

此时 Y 侧 A 相电压为

$$U_{YA} = U_{Y1} + U_{Y2} + U_{Y0} = -\frac{1}{2} \dot{E}_A\quad (6)$$

此时, A 站 110kV II 段母线 PT 开口三角形电压为

$$\begin{aligned}3U_0 &= U_{YA} + U_{YB} + U_{YC} \\ &= -\frac{1}{2} \dot{E}_A + (-\dot{E}_A) = -1.5 \dot{E}_A \approx 100.89kV\end{aligned}$$

此时, 系统侧线电压为 116.5kV, 并有开口三角形压变变比为  $(110/\sqrt{3})kV/100V$ , 则间隙电压为 158.8V, 超过动作定值 150V, 因此间隙保护动作跳闸。经现场核实, 实际测得的间隙电压为 153V, 与理论计算值相差不大。

### 2.4 B 站 982 开关零序保护未动分析

(1) A 站 2 号主变中性点不接地

A 站 2 号主变中性点不接地时, Y 侧零序阻抗

为无穷大, 零序电流没有流通回路, B 站 982 开关零序保护不会动作。

(2) A 站 2 号主变中性点接地

A 站 2 号主变中性点接地时, 此时间隙保护退出。在主变检查后送电过程中, 形成了零序电流回路, 零序电流为

$$\begin{aligned}\dot{I}_{A0} &= -\frac{Z_{22}}{Z_{11} Z_{22} + Z_{11} Z_{00} + Z_{22} Z_{00}} \dot{E}_A \\ &= -\frac{Z_{22} Z_{11}}{Z_{11} Z_{22} + Z_{11} Z_{00} + Z_{22} Z_{00}} \dot{I}_{loadA}\end{aligned}\quad (7)$$

取  $I_{loadA}=85.1A$ ,  $X_{1T}=X_{2T}=X_{0T}=0.26$ ,  $X_{1L}=X_{2L}=0.12$ ,  $X_{0L}=0.24$ , 此时  $Z_{11}=Z_{22}=0.38$ ,  $Z_{00}=0.5$  [6]。此时, 零序电流为

$$\dot{I}_{A0} = -\frac{1}{1 + \frac{0.5 \times 2}{0.38}} \times 85.1 = -23.43A$$

由上式可得, 流经 B 站 982 开关的零序电流为 23.43A, 未超过其零序 IV 段 240A 的整定值, 所以 B 站 982 开关零序保护不动作。同时, 该零序电流也流经 A 站 2 号主变, 未超过其高后备保护中 II 段零序过流定值 120A, 所以保护也不动作。这也会是为何 2 号主变中性点闸刀合上时虽有零序电流但保护均不动作的原因。

## 3 结论

通过以上分析计算可得, 在该故障中, 各项保护均正确动作。该故障引起的启示有以下几点:

(1) 在现场情况复杂, 无法得到确切保护动作信息时, 会对判断事故类型和进行事故处理带来困难。在该事故中, 由于伴有火情, 未能及时获取 2 号主变保护动作信息。

(2) 从事故发展的过程中寻找其中的逻辑关系, 才能准确的进行故障判定和处理。

(3) 一起事故可能诱发多点故障, 对于诱发的其他故障要有充分的考虑和应对措施。

(4) 断相故障的判别的判断依据, 一是由故障线路供电的变电站高压侧母线故障相电压大幅下降 (相电压的一半), 非故障相电压变化很小; 二是故障相电流为 0。

### 参考文献:

- [1] 江苏省电力公司. 电力系统继电保护原理与实用技术 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2006.

- [2] 张保会, 尹项根. 电力系统继电保护 (第二版) [M]. 北京: 中国电力出版社, 2010.
- [3] 彭建宁, 魏莉. 110kV 输电线路单相断线故障分析[J]. 继电器, 2007, 35(18): 75-77.
- [4] 阳家书, 李国友, 孙建华. 一次 110kV 线路单相断线故障的继电保护动作分析[J]. 继电器, 2007, 35(22): 58-60.
- [5] 董艳红, 杜广平, 于会宁. 一起 110kV 线路单相断线故障分析[J]. 黑龙江电力, 2011, 33(3): 208-210.

- [6] 胡亚旻. 110kV 变电所高压侧单相断线故障案例分析[J]. 中国高新技术企业, 2010(1): 167-169.

---

**作者简介:**

王 璞 (1987- ), 男, 南京供电公司, 实习调度员, wangpu8722@126.com;

朱慈凝 (1967-), 男, 江苏南京人, 高级工程师, 高级技师, 从事电力调度工作。